

切羽補強工法の先行変位抑制効果に関する基礎的検討

鹿島建設(株) 正会員 ○横田泰宏 李濟宇 伊達健介 山本拓治 北本幸義

1. はじめに

近年、長尺鏡ボルトに注目が集まっているが、実設計を行う際に最適な鏡ボルト仕様を求める設計フローを示している研究成果は数少ない。また、三次元解析の実施が一般的になってきたとはいえ、計算時間、コスト等の理由で、地盤物性値や支保パターンをパラメトリックに変化させて、数多くのケースを比較解析して実設計に供することは困難である。そこで本論文では、切羽補強工を施工するトンネルの実設計を二次元問題として取り扱うことを想定し、切羽通過時の応力解放率を求めることを最終目的に、まずは三次元数値解析手法を用いてパラメトリックスタディを実施し、想定される低土被りのトンネル掘削条件を対象に、補助工法仕様が先行変位率に与える影響について検討を行った。

2. 数値解析概要

数値解析には、三次元有限差分法(FLAC3D)を用いた。図1に解析モデルを示す。解析境界については、掘削の影響が生じないようにトンネル断面からそれぞれ2D~3D程度離れた。また、地表面を自由面とし、他の5面をローラー境界と設定した。トンネル縦断方向は60mとし、1mピッチで掘削を模擬することとした。また地盤の構成則にはMohr-Coulomb則を採用し、全応力解析を実施した。数値解析に用いた物性値は表1の通りである。地盤・AGF・脚部補強ゾーンについては、鏡ボルトやAGF等の補助工法の施工が考えられる未固結な砂質土を対象とし、文献¹⁾²⁾を参考に解析物性値を決定した。AGFは適用範囲に相当する地盤要素を等価物性値に変換し、脚部補強は粘着力を増加させ簡便にモデリングした。AGFは12m鋼管とし、3m分オーバーラップさせて次のAGF鋼管を施工することとし、脚部補強は掘削面より1~2m前方を改良するよう決定した。支保工物性値は、吹付けコンクリートと鋼製支保工の等価物性値とし、弾性シェル要素でモデリングした。また、鏡ボルトはケーブル要素でモデリングし、GFRPボルトの物性値を用いた。鏡ボルトと地盤の付着強度及び付着剛性は①図2中の理論式より算出する手法及び②現場での引抜き試験結果を用いる手法の2通りを考慮した。手法①では、対象が砂地盤の場合、理論式より付着強度が求まり、図2より付着強度を発揮するまでの地盤とボルトの相対変位2mmで付着強度を除すことによって付着剛性を得ることができる。手法②では、図3に示す原位置引抜き試験結果より付着強度を求めた。

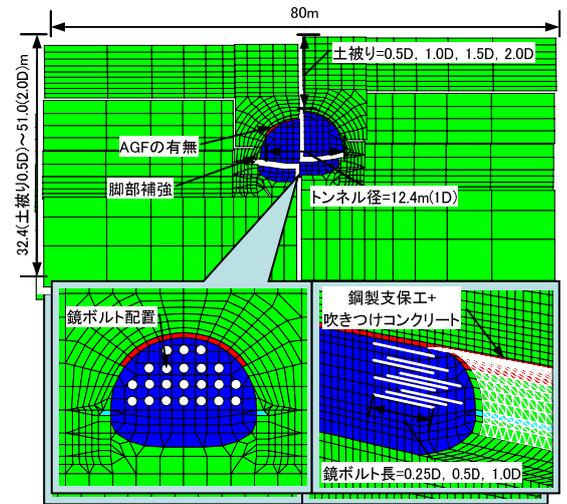


図1 解析メッシュ

表1 物性値一覧

地盤		AGF	
構成則	Mohr-Coulomb	構成則	Mohr-Coulomb
弾性係数(MPa)	50	弾性係数(MPa)	2160
ポアソン比	0.35	ポアソン比	0.35
内部摩擦角(°)	35	内部摩擦角(°)	35
粘着力(kPa)	20	粘着力(kPa)	20
引張力(kPa)	4	引張力(kPa)	4
Dilation(°)	0	Dilation(°)	0
脚部補強		支保工(吹付けコン+鋼製支保工)	
構成則	Mohr-Coulomb	構成モデル	Shell
弾性係数(MPa)	50	弾性係数(MPa)	9300
ポアソン比	0.35	密度	2.45
内部摩擦角(°)	35	ポアソン比	0.25
粘着力(kPa)	100	厚さ(m)	0.25
引張力(kPa)	20		
Dilation(°)	0		
鏡ボルト			
構成モデル	Cable	補強材円周長(m)	0.157
弾性係数(MPa)	3.4×10^4	付着強度(kN/m)	①27.8 ②150
断面積(m ²)	2.4×10^{-3}	付着剛性	①13.9 ②75

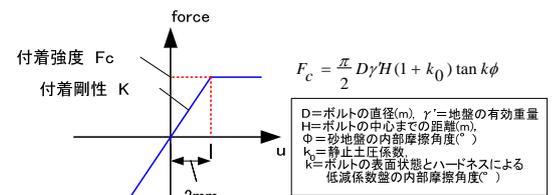


図2 付着強度と付着剛性

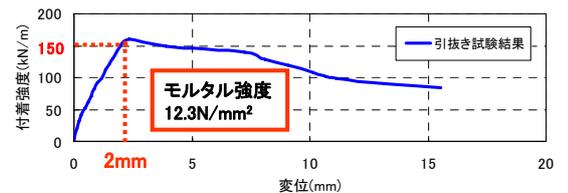


図3 原位置引抜き試験結果

キーワード 長尺鏡ボルト, 先行変位率, 応力解放率, 三次元解析, 有限差分法

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株) TEL 042-489-708

3. 解析結果及び考察

解析に用いたパラメーター一覧を表2に、パラメトリックスタディ結果を図5に示した。図5(a)(b)は、トンネル掘削全長60mの中央30m地点(以後、変位測定点)における切羽進行に伴う天端沈下量を土被り別に示したグラフである。これらより、切羽面が測定点に近づくにつれ沈下量が急増し、鏡ボルトの補強効果(赤楕円)を確認することができる。また、土被り0.5Dでは、得られた鏡ボルトの補強効果は最終的な沈下量においても抑制効果があるのに対し、土被り2.0Dでは、切羽面が測定点に到達した段階で得られた補強効果は、最終掘削時にはほとんど無くなってしまふ。なお、この傾向は土被り1.0D, 1.5Dでも同様であった。次に、各パラメータによる先行変位率の差異を図5(c)(d)に示す。図5(c)に示すように、先行変位率は、土被りが0.5DでAGF無しの場合には、地山のアーチ効果を得ることができないため60~70%と大きく現れるが、その他のケースでは、45~55%の範囲に分布することが分かった。さらに、鏡ボルト長の増加に伴って補強効果も増大し、鏡ボルト長1.0D付近で先行変位率を約10%低減させることができている。特に鏡ボルト長が0.3Dから0.5Dの時に、急激に効果が増加している。この傾向は土被りの大小に関係なくほぼ一様となり、鏡ボルトの補強効果は土被りと相関が低いことが分かる。一方、AGFによる先行変位率の低下幅に着目すると、土被り0.5~1.0Dでは約5~10%、1.5D以上では2%程度となり、0.5~1.0Dの場合は、AGFの効果も、設計時に考慮すべきであると考えられる。図5(d)は、鏡ボルトと地山の付着強度の差異に伴う先行変位率の低下幅を示したグラフである。この図を見ると、鏡ボルトの補強効果は、ある付着強度以上では大きくは増加しないことが予想され、またそれまでの効果については、ボルト長と付着強度の関係で表現可能であることが分かった。

4. おわりに

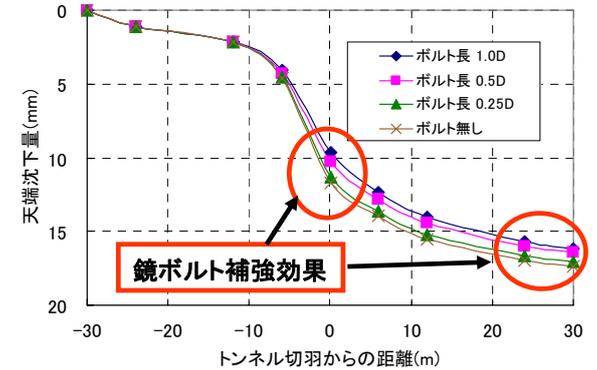
今後、三次元解析において、鏡ボルトのオーバーラップ長等についてさらなる検討を実施し、各パラメータが先行変位率や地山特性曲線に及ぼす影響を把握する予定である。また、得られた結果より二次元問題として取り扱う際の応力解放率を適切に定め、様々な地山物性や支保パターン及び補助工法に応じて最適な切羽補強工の設計が可能となるよう研究を進めていく所存である。

5. 参考文献

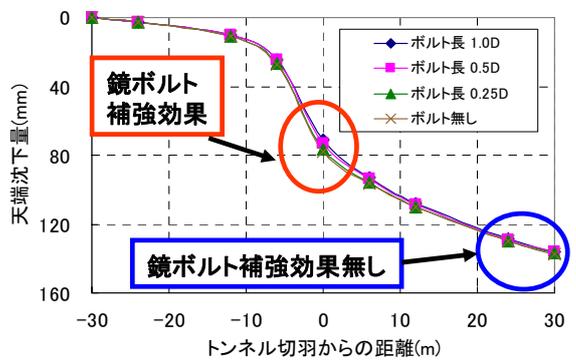
- (1) 日本道路公団試験研究所：トンネルの標準設計に関する研究報告書，1986。
- (2) 鉄道建設・運輸施設整備支援機構：NATM 設計施工指針，1996。

表2 解析パラメーター一覧

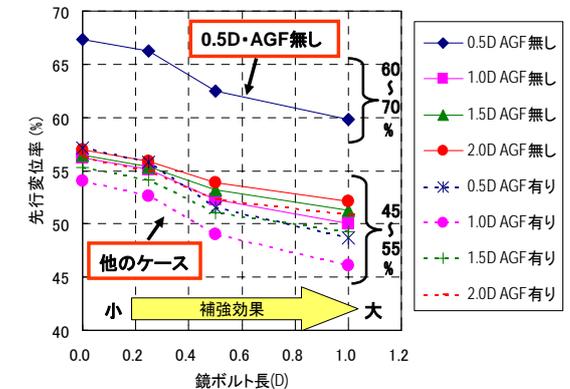
土被り(m)	鏡ボルト長(m)	付着強度(kN/m)	AGF
0.5D	0.25D	27.8	有り
1.0D	0.5D	150	無し
1.5D	1.0D		
2.0D			



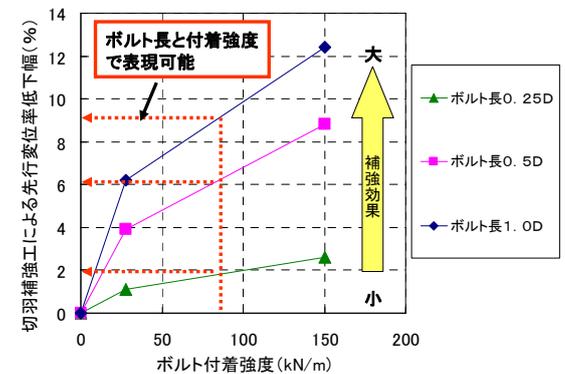
(a) 天端沈下 (土被り0.5D)



(b) 天端沈下 (土被り2.0D)



(c) 鏡ボルト長と先行変位率低下の関係



(d) 付着強度と先行変位率低下幅の関係

図5 解析結果